

Revisão Histórica

- * 1928 → equação de Dirac para o elétron (e^-).
- * 1930 ("A theory of e^- and p ") → interpretação dos estados de energia $E < 0$ e a introdução do vácuo quântico.
- * 1930 ("the proton") → Dirac considerou que o próton fosse um "anti- e^- " em estado excitado de energia (já que $m_p \approx 1800 m_{e^-}$). Depois ele corrigiu isso.
- * 1931 ("Quantised singularities in the EM") → Dirac propõe uma explicação ^{para} a quantização da carga ($q = ne, n \in \mathbb{Z}$), a previsão de monopólos magnéticos e da anti-matéria (o pósitron e^+ deveria ter mesma massa do e^-).
- * 1932 → descoberta do e^+ por Carl Anderson.

[Ref.: artigo da Cosmo & Contexto "Dirac"]

Neste contexto histórico de "pré - eletrodinâmica quântica".

- * 1933 (breve nota) → Halpern apontou que flutuações do vácuo poderiam gerar espalhamento luz-luz.

* 1934 (dois artigos) → Heisenberg formula com maiores detalhes as flutuações do vácuo e sua conexão com espalhamento luz-luz.

* 1935 → Euler e Kockel (ambos estudantes de Heisenberg) obtêm L_{EK} e $\sigma_{\text{luz-luz}}$ para pequenas frequências.

[obs: $\sigma_{\text{luz-luz}} \sim$ tese-D de Euler em 1936], $\sigma \sim$ seção de choque

* 1936 → Akhiezer, Landau e Pomeranchuk obtiveram $\sigma_{\text{luz-luz}}$ para grandes frequências.
 (Akhiezer, Landau e Pomeranchuk são estudantes de Heisenberg)

[obs: $\sigma_{\text{luz-luz}} \sim$ tese-D de Akhiezer em 1936]

* 1936 → Heisenberg e Euler propõe L_{HE} (mesma expressão não-perturbativa) com $L_{HE} \xrightarrow[\text{energias}]{\text{baixas}} L_{EK}$.

obs: muitas vezes temos confusões ^{na literatura} entre L_{EK} e L_{HE}
 (a maioria utiliza L_{HE})

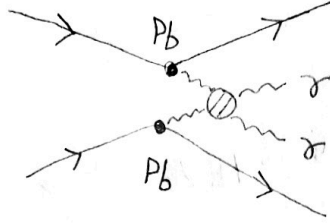
* 1934 (em paralelo a L_{EK} e L_{HE}) → Born e Infeld,
 numa perspectiva clássica, propõe L_{BI} com objetivo
 de evitar singularidades da teoria de Maxwell.

obs: no período 1933 até 1935 temos outros trabalhos
 de BI, como descrito na tese-D de Sergio Vellozo.

Ref.: maiores detalhes da L_{HE} → artigos de
 Gerald Dumme de 2004 e 2012

* 1951 → Karplus e Neuman calculam $T_{euz-luz}$ com
 todos os efeitos da eletrodinâmica quântica.

* 2013 → d'Emterria e Sikveira propõem procurar o espalhamento luz-luz em colisões ultraperiféricas Pb-Pb no LHC.



[obs: eles também analisaram o caso de colisões P-P, mas concluíram que era menos promissor.]

* 2017 → evidência e 1ª medida do espalhamento luz-luz na Colaboração ATLAS (via colisões Pb-Pb).

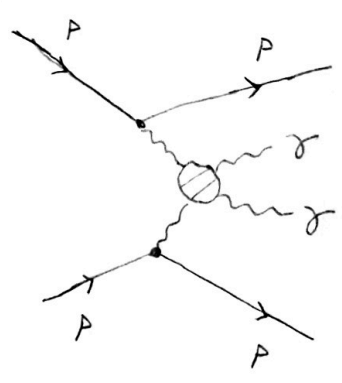
* 2018 → confirmado/medido na Colaboração CMS.

⇒ estas medidas estão de acordo com as predições de HE e correções quânticas do Modelo Padrão.

⇒ isso pode ser utilizado para restringir eletrodinâmicas não-lineares (como, por exemplo, em 2017, Ellis e outros autores colocam restrições na teoria de BI).

* 2021 → Colaborações CMS & TOTEM publicaram
1ºs resultados da procura de espalhamento luz-luz
em colisões próton-próton:

(p-p)



observação : atualmente existem outras motivações
para investigarmos o espalhamento
luz-luz como, por exemplo,

- 1) matéria escura ;
- 2) monopolos eletrofracos ;
- 3) assimetria entre matéria e anti-matéria .